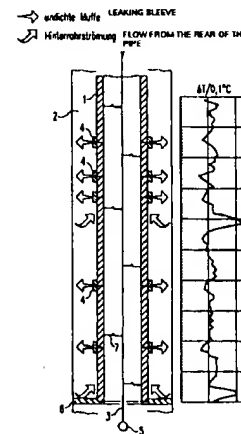




Revised

**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup>:</b> <b>G01M 3/00, 3/04</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 99/60360</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 25. November 1999 (25.11.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP99/03162  <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 7. Mai 1999 (07.05.99)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 298 08 836.3      15. Mai 1998 (15.05.98)      DE 298 11 737.1      1. Juli 1998 (01.07.98)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> GESO GESELLSCHAFT FÜR SENSORIK, GEOTECHNISCHEN UMWELTSCHUTZ UND MATHEMATISCHE MODEL- LIERUNG MBH JENA [DE/DE]; Max-Gräfe-Gasse 10, D-07743 Jena (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> GROSSWIG, Stephan [DE/DE]; Georg-Weerth-Strasse 4, D-07749 Jena (DE). KÜHN, Katrin [DE/DE]; Max-Gräfe-Gasse 10, D-07743 Jena (DE).  <b>(74) Anwälte:</b> KRUSPIG, Volkmar usw.; Meissner, Bolte & Part- ner, Postfach 86 06 24, D-81633 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
<b>(54) Title:</b> METHOD AND DEVICE FOR MONITORING TEMPERATURE DISTRIBUTIONS ON THE BASIS OF DISTRIBUTED FIBER-OPTIC SENSING, AND USE OF SAME		
<b>(54) Bezeichnung:</b> VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM MONITORING VON TEMPERATURVERTEILUNGEN AUF DER BASIS VERTEILTER FASEROPTISCHER SENSORIK SOWIE DEREN ANWENDUNG		
<b>(57) Abstract</b>  The invention relates to a method and a device for the permanent and automatic monitoring of temperature distributions and/or temperature anomalies on the basis of distributed fibre-optic temperature sensing, as well to the use of such a method. According to the invention, local temperature extremes, i.e. minimum or maximum values, are detected by evaluation without numeric derivations. The device for monitoring ascending or supply pipes surrounded by an annular space allows for an especially economical monitoring of the safety of installations under pressure, especially in the field of compressed gas storage. Moreover, the position of an underground watershed or the direction and flow rate of the flows in flooded mine workings can be determined on the basis of fibre-optic temperature measurements. The defined arrangement of preferably vertical sensor cables inserted into boreholes also makes it possible to examine the density of base soils and lateral walls in building excavations. Finally, the virtually horizontal, meander-like arrangement of fibre-optic cables situated in several levels makes it possible to evaluate and control the efficacy and homogeneity of leaching processes in leaching dumps and fills.  <b>(57) Zusammenfassung</b>  Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum, auch permanenten und automatischen, Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperaturanomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik sowie Anwendungen derartiger Verfahren. Erfindungsgemäß wird bezüglich der Auswertung das Erkennen von temperaturseitigen lokalen Extrema, d.h. Minima oder Maxima, durch eine Auswertung ohne numerische Ableitungen durchgeführt. Mit der Vorrichtung zur Überwachung von mit einem Ringraum umgebenen Steig- oder Förderrohren besteht die Möglichkeit, besonders kostengünstig die Sicherheit von unter Druck stehenden Einrichtungen, insbesondere im Bereich der Unterdruckgasspeicherung zu überprüfen. Weiterhin kann auf der Basis faseroptischer Temperaturmessungen die Lage einer untertägigen Wasserscheide bzw. die Richtung und der Betrag der Strömung in gefluteten Stollenabschnitten bestimmt werden. Ebenso besteht durch definierte Anordnung von bevorzugt vertikalen, in Bohrungen abgeteuten Sensorkabeln die Möglichkeit, die Dichtigkeit von Sohle und Seitenbegrenzungen an Baugruben zu untersuchen. Letztendlich kann durch die nahezu horizontale Anordnung mäandrierförmig verlegter, in mehreren Ebenen befindlicher faseroptischer Kabel die Wirksamkeit und die Homogenität von Leaching-Prozessen in Leaching-Halden oder -Schüttungen bewertet und gesteuert werden.		



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Letland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM MONITORING VON TEMPERATURVERTEILUNGEN AUF DER BASIS VERTEILTER FASEROPTISCHER SENSORIK SOWIE DEREN ANWENDUNG

5

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum  
10 Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperatur-  
anomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatur-  
sensorik sowie neuartige Anwendungen derartiger Verfahren.

Verteilte faseroptische Meßprinzipien nutzen die Einkopplung  
15 von Laserlichtimpulsen in einen Lichtwellenleiter und sich  
ergebende Streueffekte. Die Streuung des Laserlichtimpulses  
erfolgt an den Molekülen des Lichtwellenleiters. Ein geringer  
Teil des Laserlichts wird hierbei zurückgestreut. Die Inten-  
sität und die spektrale Zusammensetzung des Streulichts wird  
20 demnach durch die Moleküle im Lichtwellenleiter und deren  
Verhalten bestimmt.

Das rückgestreute Licht setzt sich aus verschiedenen spektra-  
len Anteilen zusammen, die durch unterschiedliche Mechanismen  
der Wechselwirkung zwischen Laserlicht und den Lichtwellen-  
25 leiter-Bausteinen hervorgerufen werden und damit auch unter-  
schiedliche Informationen über den physikalischen Zustand des  
Lichtwellenleiters beinhalten. Damit wird aber der Licht-  
wellenleiter selbst zum sensitiven Element.

30 Die Rayleigh-Rückstreuikomponente, die die gleiche Wellenlänge  
wie der eingekoppelte Primärlaserimpuls hat, liefert den  
größten Peak im Streulichspektrum und bestimmt dadurch  
wesentlich den exponentiellen Abfall der Intensität-Zeit-  
Kurve des Rückstreulichts. Da Inhomogenitäten im Lichtwellen-  
35 leiter, lokale Dämpfungsänderungen, Mikrorisse, Spleißver-  
bindungen und ähnliche eine Intensitätsänderung in der  
Rayleigh-Rückstreuikomponente bewirken, wird diese Komponente

des Streulichtspektrums zur Qualitätskontrolle von Lichtwellenleitern bzw. zur Fehlerortung verwendet.

Die Wechselwirkung des Laserlichts mit optischen Phononen im Lichtwellenleiter, d.h. die Streuung der Phononen an thermischen Gitterschwingungen im Material, ist die Ursache für die Raman-Rückstreuikomponenten.

Das Raman-Streulicht setzt sich aus zwei Komponenten, der sogenannten Stokes- und der Anti-Stokes-Linie zusammen. Diese beiden Spektrallinien liegen, um einen bestimmten Betrag der Wellenzahl verschoben, symmetrisch zum Peak der Rayleigh-Rückstreuung. Während die Intensität der zu kleineren Wellenzahlen verschobenen Stokes-Linie  $I_S$  annähernd temperaturunabhängig ist, zeigt die zu höheren Wellenzahlen verschobene Anti-Stokes-Linie  $I_A$  eine deutliche Temperaturabhängigkeit, womit die Nutzung der Raman-Rückstreuung für die verteilte Temperaturmessung prädestiniert ist.

Die alleinige Betrachtung der Informationen, die im Rückstreuungsspektrum eines Lichtwellenleiters enthalten sind, liefert noch keine Aussagen über die örtliche Verteilung entlang des Lichtwellenleiters. Für Rückstreuungsmessungen zur orts aufgelösten Erfassung der Dämpfung mittels Rayleigh-Streuung wird das sogenannte OTDR-Verfahren eingesetzt. Um eine verteilte, d.h. orts aufgelöste Erfassung der Temperatur mittels Raman-Sensorik realisieren zu können, wird entweder auf das erwähnte OTDR-Verfahren (Optical Time Domain Reflectometry) als Zeitbereichs-Reflektometriemessung oder auf das OFTR (Optical Frequency Domain Reflectometry) als Frequenzbereichs-Reflektometrieverfahren zurückgegriffen.

Das OTDR-Verfahren basiert auf einem Puls-Echo-Prinzip, d.h. es werden aus der Laufzeitdifferenz zwischen Aussenden und Detektion der Lichtimpulse die Intensität (Streupegel) und

der Entstehungsort (Streuort) des rückgestreuten Raman-Lichts bestimmt.

Bei der alternativen OFTR-Technik ist ein quasi Dauer-Betrieb des Lasers und eine schmalbandige Detektion des optischen  
5 Rückstreuverhaltens möglich. Die hierdurch gegebenen Vorzüge ermöglichen den Einsatz von preiswerteren Laserlichtquellen und kostengünstigen elektronischen Baugruppen für die Signalmittelung. Demgegenüber ist jedoch die problematischere  
10 Messung des Streulichts und eine durch die Fouriertransformation aufwendigere Signalverarbeitung mit höheren Linearitätsanforderungen zu berücksichtigen.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 09 129 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle und Über-  
15 wachung des Zustands von Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen bekannt.

Gemäß der dortigen Lehre wird davon ausgegangen, daß die in den Rohren, Behältern oder Pipelines geführten flüssigen oder  
20 gasförmigen Medien eine bezogen auf die unmittelbare Umgebung unterschiedliche Medientemperatur aufweisen. Die Umgebungs- temperaturverteilung wird mindestens über Abschnitte längs und/oder umfangsmäßig und/oder im Bodenbereich nahe bei den Rohren, Behältern, Pipelines oder dergleichen, jedoch außer-  
25 halb des von diesen umschlossenen Medienraums bestimmt.

Diese Temperaturbestimmung erfolgt mit einem langgestreckten verteilten Temperatursensor in Form eines faseroptischen Sensorkabels zur Temperaturermittlung auf der Basis der oben  
30 beschriebenen Prinzipien. Bei festgestellter örtlicher Anomalie in der Temperaturverteilung wird dann auf eine Leckage geschlossen und der Ort, die Ausbreitungsrichtung sowie die Leckagemenge aus der Temperaturverteilung am jeweiligen Anomaliepunkt oder sich verändernden Ort der Anomalie  
35 bestimmt.

Vorrichtungsseitig wird nach DE 195 09 129 A1 der langgestreckte Temperatursensor, d.h. das faseroptische Sensor-  
kabel, innerhalb eines Rohrgrabens oder einer Rohrbrücke  
5 längs des Rohrs umfangsseitig an der Außenoberfläche dieses  
Rohrs unmittelbar oder über einen vorgegebenen Abstand anliegend angeordnet.

Bei im wesentlichen horizontal verlaufenden Rohren, Pipelines oder dergleichen wird der langgestreckte Sensor unterhalb der  
10 Rohre fixiert. Hier können zweckmäßigerweise auch mehrere im wesentlichen parallel verlaufende Temperatursensoren bzw. -kabel parallel zur Längsachse unterhalb dieser befestigt werden, so daß die Ausbreitungsrichtung und die Ausbreitungs-  
menge eines leakagebedingten Medienaustritts bestimmt werden  
15 kann. An besonders gefährdeten Stellen schlägt die genannte Lösung vor, mehrere bzw. dichter angeordnete Temperatursensoren vorzusehen, um auch kleinste Leckagen mit hoher Ortsauflösung zu identifizieren.

20 Grundlage für die Leckageerfassung ist die Erkenntnis, daß ein austretendes Medium mit höherer oder niedrigerer Temperatur, bezogen auf die Umgebungstemperatur, zu einer lokalen Temperaturveränderung führt, welche auch die unmittelbare Umgebung des Rohr- oder Behältermantels in diese Temperaturveränderung mit einbezieht.  
25

Durch die an sich bekannten vorteilhaft verwendbaren faseroptischen Sensorkabel kann eine Auswertung von Laufzeit und Intensität rückgestreuten Lichts bei Kabellängen von bis zu  
30 10 km und hin zu einer Temperaturentauflösung von 0,1°C erfolgen. Die gegebene Ortsauflösung liegt in Abhängigkeit von der Länge des Sensorkabels und den gewählten Verfahren zwischen 1 und 0,25 m.

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster G 93 18 404 ist eine Einrichtung zum Bestimmen von Temperaturen an oder in ausgedehnten Meßobjekten bekannt, wobei die dort gezeigte Einrichtung eine optisch-elektronische Meßvorrichtung verwendet.

5 Diese bekannte Meßvorrichtung speist an mindestens einem Ende eines Lichtwellenleiters einen Laserimpuls ein und dient der Untersuchung der vom Lichtwellenleiter rückgestreuten Strahlung. Aufgrund der bereits erläuterten Wechselwirkungen läßt sich dann die Temperatur und der Ort längs des Lichtwellen-

10 leiters spektral- und laufzeitabhängig auswerten, wobei die Längenkoordinaten des Lichtwellenleiters entsprechenden Temperaturwerten zuordenbar sind.

Zur Lokalisierung von Leckagen insbesondere an Steig- oder

15 Förderrohren von Untergrundgasspeichern sind sogenannte Flowmetermessungen bekannt geworden, bei denen das Zuströmen von Gas aus dem umgebenden Ringraum in die eigentliche Bohrung ermittelt wird. Hinterrohreffekte können mit Flow-Messungen nicht bestimmt werden, da derartige Effekte nicht zu einer

20 Strömung von Gas innerhalb der Verrohrung führen. Die Ortsauflösung bekannter Flowmetermessungen ist von den jeweiligen diskreten Teufen bestimmt, in denen die Messung durchgeführt wird, und daher prinzipiell gering.

25 Weiterhin wurde bereits vorgeschlagen, in ausgewählten Teufenbereichen den Ringraum nacheinander abzupackern, um dann Druckmessungen durchzuführen. Hierbei wird jedoch nur das Zuströmen von Gas in die eigentliche Verrohrung ermittelt und die Ortsauflösung ist in Abhängigkeit von den Abpacker-

30 stufen gering. Darüber hinaus sind die Kosten derartiger Druckmessungen erheblich.

Zur Überprüfung der Dichtigkeit von Sohle und Seitenbegren-

35 Baugrube eingebracht, um dann nacheinander die Temperatur mit

einer Lanze, an deren Spitze ein Temperaturfühler befindlich ist, zu ermitteln. Mit anderen Worten wird also mit der Lanze und dem dort vorgesehenen Temperaturfühler nacheinander die Temperatur am Fußpunkt der einzelnen Bohrungen bestimmt. Die Erfassung einer zeitlichen Temperaturentwicklung ist nicht  
5 oder nur sehr schwer möglich. Der am Ende der in bekannter Weise durchgeführten Messungen erstellte flächenhafte Temperaturplot ist schwer interpretierbar, da die Temperaturwerte nicht zeitgleich aufgenommen wurden. Das Abpumpen des Wassers  
10 aus der Baugrube muß bis zum Ende der Vermessung aller Bohrungen erfolgen. Bei einer großen Baugrube führt dies zu erheblichen Pumpzeiten, wobei weiterhin der Nachteil der zitierten bekannten Lösung darin liegt, daß eine Überwachung der Vertikalabsperrung nicht möglich oder nur mit eingeschränkter Qualität realisierbar ist.  
15

Wie eingangs erläutert, ist die faseroptische Temperatursensorik hervorragend zur Überwachung von Rohrleitungen, z.B. Produkten-Pipelines, Fernheizungsrohren und so weiter und  
20 dort insbesondere zur Leckageortung geeignet. Die zeitliche Entwicklung der Temperatur bzw. die Temperatur selbst enthält Informationen über den aktuellen Betriebszustand der überwachten Rohrleitung. Leckagen führen zu lokalen Temperaturanomalien, die sich innerhalb kurzer Zeit, d.h. wenige  
25 Minuten bis Stunden entwickeln. Diese Anomalien werden mit Hilfe der beschriebenen faseroptischen Temperatursensorik meßtechnisch erfaßt und lokalisiert. Tages- und jahreszeitliche oder witterungsbedingte Temperaturschwankungen sind immer großräumige Erscheinungen mit relativ langer Zeit-  
30 konstante. Durch die räumliche Begrenztheit und ihre zeitliche Entwicklung lassen sich Lecks im Vergleich zu den sonstigen Temperaturschwankungen erkennen und lokalisieren. Die Ansprechzeit der verwendeten Leckortungssysteme hängt von einer Vielzahl technischer Parameter, wie der Leckrate, der  
35 Art des Produkts, dem Druck, der Temperatur, der Bodenbe-



schaffenheit, der Orts- und Temperaturlösung der faser-  
optischen Temperaturmeßtechnik und weiteren ab. Die für die  
jeweilige Anwendung geforderte Ansprechzeit des Leckortungs-  
systems bestimmt den zeitlichen Abstand  $\tau$ , mit dem die  
5 Temperaturprofile bestimmt werden müssen. Da jeweils unter  
Berücksichtigung von Referenzwerten große Datenmengen zu  
verarbeiten sind und es notwendig ist, natürliche Temperatur-  
variationen ständig aus den aktuellen Meßwerten herauszu-  
korrigieren, sind bekannte Auswerteverfahren sehr zeit-  
10 und/oder rechenaufwendig, so daß teilweise eine Online-Aus-  
wertung nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Aus dem Vorgenannten ist es Aufgabe der Erfindung, ein Ver-  
fahren zum, auch permanenten und automatischen Monitoring von  
15 Temperaturverteilungen und/oder Temperaturanomalien auf der  
Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik anzugeben,  
das es gestattet, die Auswertung der Meßwerte zu verbessern  
und gleichzeitig die Aussagegenauigkeit der Messungen zu  
erhöhen. Darüber hinaus soll das anzugebende Verfahren für  
20 Langzeituntersuchungen geeignet sein und lokale Extrema  
sicher erkennen können, ohne daß aufwendige numerische Ablei-  
tungen erforderlich sind.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Vor-  
25 richtung zum Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder  
Temperaturanomalien, insbesondere von mit einem Ringraum  
umgebenen Steig- oder Förderrohren für Untergrundgasspeicher  
mittels faseroptischer Sensorkabel zur Bestimmung der Tempe-  
raturverteilung anzugeben, mit deren Hilfe bei geringen  
30 Kosten eine hohe Ortsauflösung der jeweiligen Messungen bzw.  
Leckageortungen gegeben ist und die Sicherheitsrisiken beim  
fortzuführenden oder unterbrechungsfreien Speicherbetrieb  
ausschließt.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines Verfahrens zum Monitoring auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik, insbesondere zum Nachweis der Dichtigkeit von Sohle und Seitenbegrenzungen in Baugruben oder dergleichen Einrichtungen, wobei hier Pumpzeiten ver-  
5 kürzt werden sollen und über eine nahezu zeitgleiche Messung mit hoher Präzision und schnell Aussagen über Defekte an der Sohle bzw. den Wandelementen der Grube getroffen werden können.

10

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, unter Rückgriff auf faseroptische Temperatursensorik untertägige Wasserströmungen und/oder die Lage einer Wasserscheide zu bestimmen, ohne mit umweltgefährdenden Mitteln oder sogenannten Tracern arbeiten zu müssen.

15

Letztendlich ist es Aufgabe der Erfindung, neue Anwendungsbereiche der faseroptischen Temperatursensorik zu erschließen, wobei hier insbesondere an chemische oder mikrobiologische Leaching bzw. Auslaugprozesse oder -verfahren zu  
20 orientieren ist.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung bezüglich des Langzeitmonitorings erfolgt mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen nach Patentanspruch 1, wobei bezüglich der weiteren zu lösenden Teilaufgaben auf die Ansprüche im einzelnen verwiesen sei.

25

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum auch permanenten und automatischen Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder  
30 Temperaturanomalien wird zunächst von einer Bestimmung einer Menge von natürlich vorkommenden Temperaturvariationen während des Normalbetriebs und dem Ableiten von sogenannten Referenzprofilen hieraus ausgegangen.

Im Anschluß wird eine Matrix  $A_{ij}$  mit einer Größe, definiert durch die Anzahl der Längenabschnitte des Sensorkabels und der Anzahl der Referenzprofile, erzeugt.

5    Meßtechnisch werden dann zeitlich eng Einzelprofilmessungen durchgeführt und hieraus ein Mittelwertprofil bestimmt. Ein aktuelles Profil wird dann aus dem Mittelwertprofil ermittelt und dieses aktuelle Profil wird abgespeichert, bevorzugt in einer Tabelle.

10    Weiterhin wird dann eine Bewertung des aktuellen, abgespeicherten Profils bzw. der abgespeicherten Profile schrittweise für alle Einzelwerte durch Vergleich mit den verschiedenen Referenzprofilen vorgenommen, wobei die sich ergebenden  
15    Temperaturdifferenzen für alle Längenabschnitte auf eine Abweichung größer als ein Schwellwert geprüft werden.

Im Anschluß wird festgestellt, ob die Abweichungen für einen oder mehrere Werte existieren und es wird geprüft, ob die  
20    Abweichungen bei einer Vielzahl benachbarter Längenabschnitte vorliegen. Im positiven Fall wird bei Existenz vergleichbarer Temperaturabweichungen von den Referenzwerten des Profils auf großräumige Temperaturveränderungen und im negativen Fall auf eine Leckage geschlossen.

25    Es wird demnach das aktuelle Temperaturprofil  $T(x_i, t)$  mit verschiedenen Referenzprofilen verglichen und anhand festzulegender Kriterien bewertet. Hierbei bezeichnet  $x_i$  die Längenkoordinate der einzelnen Meßintervalle  $[x_i - \Delta x/2,$   
30     $x_i + \Delta x/2]$  des Sensorkabels, wobei  $\Delta x$  die Ortsauflösung des Meßsystems bedeutet.

Die wesentlichen Größen, die bezüglich der jeweiligen Überwachungsaufgabe zu modifizieren sind, betreffen den Schwell-

wert  $\vartheta$  für die Temperaturdifferenz  $\Delta T(x_i) = T(x_i, t) - T_{\text{Ref}}(x_i)$  und den zeitlichen Abstand  $\tau$  zwischen den Messungen der Temperaturprofile.

- 5 Als Referenzprofile  $T_{\text{Ref}}$  dienen die zur Zeit  $t - \tau$  gemessenen Temperaturprofile sowie vorliegende Referenzdaten mit entsprechendem statischen Informationsinhalt.

10 Diese Referenzdaten werden während des Betriebs des jeweiligen Systems ständig aktualisiert und statistisch bewertet. Sie enthalten lokale Informationen über die jahres- und tageszeitlichen Temperaturschwankungen sowie klimatische Einflüsse. Durch das ständige Aktualisieren und Erweitern des Katalogs der Referenzprofile ist das System selbstlernend und  
15 paßt sich individuellen Gegebenheiten selbständig an.

Zur zeitlichen Dynamik der Messungen ist anzumerken, daß das verwendete faseroptische Sensorkabel aufgrund seiner Bauweise eine kurze Verzögerung der Temperaturmessung bewirkt, die je  
20 nach thermischem Kontakt mit dem umgebenden Medium bis zu einigen Minuten betragen kann. Die Leckage selbst entwickelt sich im Regelfall zunächst sehr schnell, um danach langsam in einen quasistationären Zustand überzugehen. Diese Eigenschaft wird erfindungsgemäß für die Wahl der Zeitabstände zwischen  
25 den einzelnen Messungen der Temperaturprofile genutzt, um den Rechenaufwand zu optimieren sowie die Auswertezeit zu verkürzen.

Erfindungsgemäß werden natürliche Temperaturvariationen  
30 ständig aus den aktuellen Meßwerten durch Korrektur entfernt, damit Temperaturanomalien, die von den eigentlichen Leckagen herrühren, in den Temperaturdifferenzprofilen  $\Delta T(x_i)$  deutlich hervortreten. Dies geschieht durch den Vergleich mit den Meßwerten, die kurze Zeit zuvor und auch längere Zeit zuvor  
35 gemessen wurden. Ergänzend besteht die Möglichkeit, im Fall

fehlender eindeutiger Ergebnisse auf weiter zurückliegende sogenannte historische Daten zurückzugreifen, die im Laufe längerer Messungen sukzessive ermittelt wurden.

5 Bezüglich der Aufbereitung historischer Daten wird bevorzugt das Kalenderjahr in 52 Jahreswochen unterteilt, um hier auf eindeutige Referenzdaten Bezug nehmen zu können, die den jahreszeitlichen Temperaturvariationen Rechnung tragen. Der verbleibende Tag, in Schaltjahren zwei, wird z.B. der letzten  
10 Kalenderwoche des Jahres zugeschlagen. Fortlaufend werden dann im zeitlichen Abstand  $\tau$ , z.B.  $\tau = 1h$ , die aktuellen Temperaturprofile  $T_{i,t,n,w,N}$  gemessen und gespeichert. Die Indizes bedeuten hierbei:

15  $i$  = Längenabschnitt  
 $t$  = Uhrzeit  
 $n$  = Wochentag  
 $w$  = laufende Nummer der Kalenderwoche  
 $N$  = aktuelles Jahr seit Inbetriebnahme des Überwachungs  
20 systems.

Die abgespeicherten Werte dienen dazu, das aktuelle Temperaturprofil mit den vorherigen Temperaturprofilen zu vergleichen, um hieraus Differenzwerte  $\Delta T(x_i) = T_{i,t,n,w,N} - T_{Ref,j}$  zu  
25 bilden.

Treten lokal, d.h. für wenige benachbarte  $x_i$  Temperaturdifferenzen auf, die größer als die vorgegebene Ansprechschwelle  $\vartheta$  sind, deutet diese Temperaturanomalie auf ein  
30 Leck hin.

Die für jede Woche des Jahres repräsentativen mittleren Temperaturmeßwerte sowie ergänzend einige ausgewählte statistische Größen werden erfindungsgemäß in eine Datenbank

übertragen, deren Datenfeld von der Referenzzeit bzw. Tageszeit und den einzelnen Kalenderwochen aufgespannt ist.

Jedes Datenfeld enthält dann folgende abgespeicherte Werte:

5

1. die laufende Nummer des aktuellen Jahres  $N$  ( $N=1,2,3\dots$ ) seit Inbetriebnahme des Überwachungssystems;

2. den aktualisierten Mittelwert  $\langle T_{i,r,w} \rangle_N$  des wöchentlichen Mittelwerts der Temperatur  $\langle T_{i,r,w} \rangle$  für sämtliche Längenkoordinaten  $x_i$  und für sämtliche Referenzzeiten  $r=t_{\text{Ref}}$

10

$$\langle T_{i,r,w,N} \rangle = \frac{\langle T_{i,r,w,N} \rangle + (N-1) \cdot \langle T_{i,r,w} \rangle_{N-1}}{N} \quad (1)$$

$$\text{mit } \langle T_{i,r,w,N} \rangle = \frac{1}{7} \sum_{n=1}^7 T_{i,r,n,w,N} \quad ; \quad w=1, \dots, 52$$

15

wobei  $\langle T_{i,r,w,N} \rangle$  jeweils nach Ablauf der letzten Kalenderwoche  $w$  berechnet wird;

3. den aktualisierten Mittelwert  $\langle \sigma_{i,r,w}^2 \rangle_N$  der quadratischen Abweichung des wöchentlichen Temperaturmittelwerts vom aktualisierten Temperaturmittelwert  $\langle \sigma_{i,r,w,N}^2 \rangle$  für sämtliche Längenkoordinaten  $x_i$  und sämtliche Referenzzeiten  $r=t_{\text{Ref}}$

20

$$\langle \sigma_{i,r,w,N}^2 \rangle = \frac{\langle \sigma_{i,r,w,N}^2 \rangle + (N-1) \cdot \langle \sigma_{i,r,w}^2 \rangle_{N-1}}{N} \quad (2)$$

25

$$\text{mit } \langle \sigma_{i,r,w,N}^2 \rangle = (\langle T_{i,r,w,N} \rangle - \langle T_{i,r,w} \rangle_N)^2.$$

Die in den Gleichungen (1) und (2) aufgeführten Größen enthalten demnach Informationen über die natürlich vorkommenden Temperaturvariationen während des Normalbetriebs z.B. einer

30

Rohrleitung und können zur Bewertung von den aktuell gemessenen Temperaturfluktuationen herangezogen werden. Die Daten selbst sind im Laufe des Jahres bzw. anderer vorgegebbarer Zeitabschnitte schrittweise aktualisierbar.

5

In einem ergänzenden Schritt besteht die Möglichkeit, anhand des Vorzeichens der festgestellten Anomalie zu prüfen, ob der erwartete physikalische Effekt gegeben ist, um sodann die Matrixelemente für die weitere Durchführung des Verfahrens zu  
10 korrigieren bzw. zu erweitern.

Hinsichtlich der Überwachung von mit einem Ringraum umgebenen Steig- oder Förderrohren für Untergrundgasspeicher mittels faseroptischer Sensorkabel wird dieses zur Bestimmung der  
15 Temperaturverteilung oder zum Feststellen von Anomalien im Inneren des Steig- oder Förderrohrs und/oder einer Hochdruckgaspipeline angeordnet. Das Sensorkabel führt über eine druckfeste Abdichtung nach außen. Weiterhin ist eine Einrichtung bzw. sind Mittel zum zeitweisen Entlasten des unter  
20 Druck stehenden Ringraums und/oder des Steigrohrs vorgesehen, um nach Aufnahme des Ausgangszustands der Temperaturverteilung entweder den unter Druck stehenden Ringraum oder den Steigrohrraum selbst zu entlasten. Dieses Druckentlasten erfolgt nur relativ kurzzeitig, so daß der Speicherbetrieb  
25 nicht nennenswert gestört wird.

Am äußeren Ende des hier eingesetzten faseroptischen Sensorkabels ist eine Meßeinheit zum Einspeisen von Strahlungs-  
impulsen und Empfangen von Raman-Rückstreustrahlung ange-  
30 schlossen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist am inneren in das Rohrrinnere abzuteufenden Ende des Sensorkabels ein Gewichtskörper befestigt, um das Kabel im Rohr freihängend anordnen  
35 zu können. Ebenso ist die Anordnung einer Kabelend- oder

Abschlußdose, wie z.B. in der DE 43 04 546 C1 beschrieben, möglich.

5 In dem Fall, wenn aus meßtechnischen oder sonstigen Gründen eine definierte Lage des Sensorkabels im Rohrinne-  
strebt wird, werden am Sensorkabel abschnittsweise feder-  
elastische Abstandshalter befestigt, welche nach dem Ein-  
bringen des Sensorkabels in das Rohrinne eine vorgegebene  
oder vorgebbare Kabellage sichern.

10

Die Federelastizität der Abstandshalter sichert, daß das  
Sensorkabel auch über eine nur einen geringen Durchmesser  
aufweisende Druckschleuse eingebracht werden kann. Im ent-  
spannten Zustand weisen die federelastischen Abstandshalter  
15 eine Lage im wesentlichen senkrecht zur Sensorkabellängsachse  
auf bzw. erstrecken sich von dieser Achse in senkrechter  
Richtung zur Steig- oder Förderrohrinnenwandung.

Die durch die Vorrichtung ermittelten Temperaturanomalien in  
20 gemessenen Temperaturprofilen geben Hinweise auf Lecks in der  
Verrohrung oder auf Strömungsvorgänge im Hinterrohrbereich,  
d.h. im sogenannten Ringraum. Dies ist, wie mit der Vorrich-  
tung gezeigt, auch dann überraschenderweise möglich, wenn das  
Sensorkabel im Förderrohr installiert wird. Abkühlungen, d.h.  
25 Temperaturveränderungen im Ringraum oder der Zementation,  
wirken über Wärmeleitungsvorgänge in das Förderrohr zurück  
und lassen sich mit der faseroptischen Temperatursensorik  
meßtechnisch erfassen, mit dem vorstehend beschriebenen  
Verfahren auswerten und lokalisieren.

30

Auswerteseitig wird konkret eine Differenzkurve der Tempera-  
turprofile vor und nach der vorzunehmenden Ringraum-  
spannung bestimmt, wobei diese Kurve Anomalien mit verschie-  
denen Vorzeichen aufzeigt. Negative Temperaturdifferenzen  
35 lassen auf undichte Rohrmuffen schließen. Positive Tempe-



raturdifferenzen und -anomalien hingegen zeigten den Zustrom wärmeren Gases im Hinterrohrbereich aufgrund einer schadhafte Zementation bzw. Umhüllung.

- 5 Mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtung ist also eine zeitgleiche, verteilte Messung der Temperatur-Teufen-Profile längs der gesamten Speicherbohrung bei Erdgasspeichern mit hoher Orts- und Temporaturauflösung bei großer Sensorkabel-  
länge möglich. Der erfassbare Temperaturbereich liegt zwischen  
10 -50°C bis hin zu über 350°C, bei Drücken bis zu 75 MPa.

- Eine Beeinträchtigung des Speicherbetriebs durch die erfindungsgemäße Vorrichtung ist ausgeschlossen. Dadurch, daß das Sensorkabel keinerlei potential- oder stromführende Leitungen  
15 aufweist, ist Explosionssicherheit von vornherein gegeben. Die eingesetzten faseroptischen Sensorkabel der Vorrichtung sind mechanisch und chemisch außerordentlich widerstandsfähig und besitzen eine große Lebensdauer. Die faseroptischen Sensorkabel können ständig im Rohrinnein verbleiben und  
20 ermöglichen Stichtagsmessungen sowie eine Dauerüberwachung durch Einbindung in EDV-Leitwarten.

- Alternativ ist eine temporäre Installation des Sensorkabels in die Bohrung eines Gasspeichers möglich, wobei hier das  
25 Sensorkabel in die unter Druck stehende Bohrung mittels Druckschleusen für die Abdichtung der Bohrung während des Einbaus des Kabels und während der eigentlichen Messungen eingebracht wird.

- Auch hier wird nach Aufnahme eines Ausgangstemperaturzustands  
30 der unter Druck stehende Ringraum oder das Steigrohr entlastet und eine erneute Temperaturermittlung vorgenommen. Messungen sind sowohl an Aquiferspeichern als auch in einer Kaverne oder in ausgebeuteten Lagerstätten zur Speicherung von Gas möglich.

Es hat sich gezeigt, daß mit der vorgeschlagenen Vorrichtung eine örtliche Zuordnung von Lecks bis hin zu 0,25 m Genauigkeit erreicht werden kann, so daß anhand eines gegebenen Verrohrungsschemas eine exakte Bestimmung defekter oder  
5 undichter Teile erfolgen kann. Durch zusätzliche Sensorik in der Kabelabschluß- oder Kabelenddose können weitere physikalische Parameter erfaßt werden.

Bei Anordnung eines Geophons in oder an der Dose kann in vorteilhafter Weise der Gas/Wasser-Kontakt beim Einfahren des  
10 Sensorkabels festgestellt und ein unerwünschtes Schwingen des Kabelstrangs mit der möglichen Folge von Beschädigungen aufgrund plötzlich geänderter Druckverhältnisse wirksam verhindert werden.

15 Beim Verlegen des Sensorkabels im Inneren einer Hochdruckgaspipeline, die z.B. durch dichtbesiedeltes Gebiet führt, wo Erdarbeiten nicht oder nur erschwert möglich sind, wird ein Verbundkabel mit einer Vielzahl von Lichtwellenleitern benutzt, um neben der Leckageortung eine Datenübertragung,  
20 insbesondere für Telekommunikationszwecke zu erreichen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Nachweis der Dichtigkeit von Sohle und Seitenbegrenzungen in Baugruben oder dergleichen Einrichtungen auf der Basis verteilter faseroptischer  
25 Temperatursensorik wird zunächst der Grubengeometrie entsprechend eine rasterartig ausgeführte Menge an Bohrungen bis zur Sohle abgeteuft. In diese Bohrungen werden dann Temperatursonden eingebracht und es erfolgt ein Auslesen der Sondenmeßwerte.

30 Bei festgestellter Anomalie besteht die Möglichkeit, die Messung von einem Grobraster in ein Feinraster umzustellen, um das Leck noch genauer lokalisieren zu können.

Weiterhin werden Bohrungen in unmittelbarer Nähe von Spund- und Schlitzwänden vor den Fugen der einzelnen Wandelemente eingebracht, wobei diese Bohrungen bis zur Sohle reichen.

- 5 In diese weiteren Bohrungen wird dann ein durchgängiges faseroptisches Kabel eingeführt, wobei hierfür auf Grundgewichte oder dergleichen Gewichtskörper zurückgegriffen wird.

Nach einem Bestimmen des Ausgangszustands der Temperaturverteilung erfolgt ein Abpumpen des Wassers aus dem Grubeninneren und ein laufendes oder zyklisches Messen der sich einstellenden Temperaturverteilung. Durch laufenden oder zyklischen Vergleich zum Ausgangszustand kann dann online auf Undichtigkeiten geschlossen werden, wobei ebenfalls die Lagebestimmung der einzelnen undichten Stellen möglich ist.

Erfindungsgemäß werden mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren die vorhandenen Temperaturunterschiede zwischen dem durch eine mögliche Leckstelle zufließenden Wasser und der Umgebung des Dichtungssystems berücksichtigt. Beim konkreten Fall einer Baugrubensohle entsteht beim Abbindeprozeß Wärme. Die Temperatur kann demnach in der Baugrube oberhalb der Sohlendichtung auf Werte von über 20°C ansteigen. Hierdurch sind deutliche Temperaturunterschiede zwischen dem Grundwasser außerhalb und dem Wasser innerhalb der Baugrube gegeben. Beim Abpumpen von Wasser aus dem Baugrubeninneren wird der Grundwasserspiegel in der abgedichteten Baugrube gesenkt und es entsteht ein hydraulisches Gefälle sowie ein zusätzlicher hydrostatischer Druck. Dieses hydraulische Gefälle bewirkt, daß eine Leckage in der Sohle, in den Vertikalabsperungen, d.h. an Schlitzwänden oder Spundwänden, und im Bereich der Sohle-Wand-Anbindung deutlich kühleres Grundwasser mit einer Temperatur von beispielsweise 10 bis 13°C in die Baugrube eindringt. Durch Messungen der Temperaturverteilung an der Baugrubensohle und an den Vertikal-

absperungen, wie vorstehend beschrieben, während des Abpumpens lassen sich Leckagen in den entsprechenden Dichtungseinrichtungen oder -systemen einfach und sicher nachweisen.

- 5 Bei dem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren zum Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperaturanomalien, insbesondere zur Bestimmung von Strömungen in Grubenwässern, sowie zur Feststellung des Verhaltens einer Wasserscheide wird wiederum auf faseroptische Sensorkabel zurückgegriffen.

10

Das oder die faseroptischen Sensorkabel werden bevorzugt in Mäanderform in den Stollen oder in die Grube längsseitig bzw. sich in Längsrichtung erstreckend, jedoch möglichst große Flächenelemente erfassend eingebracht.

15

Weiterhin wird bevorzugt im Zentrum der Kabelanordnung eine thermische Punktquelle aktiviert, wobei aus einer festgestellten Verschiebung der aufgenommenen Temperaturprofile bezüglich der bekannten Lage der Punktquelle auf das

20

Vorhandensein einer Strömung einerseits, aber auch auf die Strömungsgeschwindigkeit andererseits geschlossen werden kann.

25

Somit kann erfindungsgemäß in einem gefluteten Stollenabschnitt, der vollständig mit Wasser gefüllt ist, die Strömungsrichtung des Grubenwassers festgestellt und die Strömungsgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Dies geschieht mit einer Kombination einer thermischen Punktquelle, z.B. örtlicher Heizung oder Kühlung, und einer verteilten Temperaturmessung, d.h. Simultanmessungen von Temperatur und Ort. Die Punktquelle wirkt nur zeitlich begrenzt als thermischer Impuls.

30

Es hat sich gezeigt, daß trotz der vorhandenen Wärmeleitung im Wasser geringe Strömungsraten durch Verschiebung der ermittelten Temperaturkurve bestimmt werden können.

- 5 Mit dem Meßverfahren ist es möglich, auf ansonsten erforderliche Tracer, die mit Umweltbelastungen einhergehen, zu verzichten. Durch erneutes Aktivieren der thermischen Punktquelle kann die Messung jederzeit bei einmal eingebrachtem faseroptischen Kabel wiederholt bzw. aktualisiert werden, 10 wodurch das Monitoring kritischer Grundwasser oder Sohlenabschnitte zum Zwecke der Überwachung von z.B. gefluteten bergbaulichen Einrichtungen möglich ist.

- Eine neuartige Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur 15 Bestimmung von Temperaturverteilungen und/oder Temperaturanomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik besteht in der Bewertung von chemischen oder mikrobiologischen Leaching-Prozessen. Hierbei wird die Erkenntnis genutzt, daß die Leaching-Aktivitäten exotherm ablaufen und 20 eine Steuerung des Leaching-Prozesses anhand der Beurteilung des Temperaturverlaufs in einer Leaching-Halde oder Leaching-Schüttung möglich wird.

- Erfindungsgemäß werden bevorzugt beim Errichten der Leaching- 25 Halde oder Leaching-Schüttung mäanderförmige faseroptische Sensoren eingebracht, wobei die jeweiligen Mäander die Schüttungs- oder Haldefläche rastermäßig erfassen. Wenigstens zwei Flächengebilde werden, quasi Ebenen darstellend, übereinander in der Halde oder Schüttung angeordnet.

- 30 Die räumliche Verteilung bzw. die Ausbildung des Mäanders kann im Meter-, 0,5- oder 0,25-Meterraster erfolgen.

- Über eine übliche Meßeinrichtung kann dann die Temperaturver- 35 teilung sowohl innerhalb einer Ebene flächig als auch der

übereinander angeordneten Ebenen gegeneinander bestimmt werden.

Es liegt im Sinne der Erfindung, daß anstelle einer Mäander-  
5 anordnung selbstverständlich auch eine spiralförmige oder  
anderweitige flächige Verlegung des Sensorkabels denkbar ist.

Mit Hilfe der eingebrachten faseroptischen Sensorik läßt sich  
sowohl die örtliche als auch die zeitliche Ausbildung der  
10 Leaching-Front innerhalb der Schüttung oder Halde bestimmen  
und es besteht die Möglichkeit zu überprüfen, ob das Leaching  
homogen verläuft bzw. bei Inhomogenitäten kann gezielt  
frische Substanz zugeführt werden.

Durch die Anordnung mindestens zwei oder mehrerer Ebenen von  
15 flächig angeordneten Sensoren bevorzugt horizontal überein-  
ander können Strömungen innerhalb der Schüttung oder Halde  
ermittelt und für die Bewertung oder Steuerung des Leaching-  
Prozesses ausgewertet und herangezogen werden.

20 Durch die einfache zeitliche Detektion sich ausbildender  
Wärmefronten kann auch die Erholzeit nach exothermen Reak-  
tionen überwacht und ein erneuter Prozeßbeginn initiiert,  
aber auch objektiv der Zustand des Erschöpfens bezüglich des  
Leaching-Verfahrens festgestellt werden.

25 Wie aus den voranstehenden Ausführungen ersichtlich, gelingt  
es mit dem Auswerteverfahren, die Genauigkeit beim insbeson-  
dere Langzeitmonitoring auf der Basis der Bestimmung von  
Temperaturverteilungen mittels faseroptischer Sensorik zu  
30 verbessern, wobei unter Berücksichtigung einer Referenzdaten-  
bank eine Online-Bewertung mit geringem Rechenaufwand erfol-  
gen kann.

Durch die verbesserte Methodik der Auswertung lassen sich  
35 neue Anwendungsfälle für die verteilte Temperaturmessung

mittels Faseroptik erschließen, wobei hier insbesondere auf  
das Ermitteln von Leckagen an Steig- oder Förderrohren in  
Gasspeichern, aber auch auf die Bestimmung der Dichtigkeit  
von Sohle und Seitenbegrenzungen in Baugruben hinzuweisen  
5 ist.

Es hat sich weiterhin gezeigt, daß durch die Bewertungsge-  
nauigkeit die Möglichkeit besteht, untertägige Strömungen  
auch sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit, z.B. in geflu-  
10 teten, aufgelassenen Stollenabschnitten, zu bestimmen. Ein  
weiterer, neuartiger Anwendungsfall besteht in der Auswertung  
exothermer Reaktionen von chemischen und /oder mikrobiolo-  
gischen Leaching-Prozessen, so daß derartige Verfahren in  
situ überwacht und gesteuert werden können, mit der Folge  
15 einer erhöhten Ausbeute bei gleichzeitiger effektiverer  
Betreibung derartiger Anlagen oder Einrichtungen.

Die Erfindung sei nachstehend anhand verschiedener Ausführ-  
ungsbeispiele sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher  
20 erläutert.

Hierbei zeigen:

Fig. 1a und b eine prinzipielle Darstellung des Verfahrens  
25 zur permanenten, automatischen Überwachung von Tempe-  
raturveränderungen mittels faseroptischer Sensorik;

Fig. 2 eine prinzipielle Ausbildung eines Steig- oder  
Förderrohrs für einen Untergrundgasspeicher mit Ring-  
30 muffen und Hinterrohrströmung sowie eine ermittelte  
Differenzkurve der Temperaturprofile vor und nach der  
Ringraumentspannung;

Fig. 3 eine prinzipielle Darstellung der Anordnung einer  
35 thermischen Punktquelle und eines faseroptischen

Sensorkabels in einem untertägigen Stollen zur Bestimmung einer Strömung sowie beispielhaft aufgenommene Temperaturprofile;

5 Fig. 4 eine prinzipielle Anordnung einer Temperaturmeßkabel-Auslage in einer Baugrube vor der Vertikalabsperrung und

Fig. 5 die Prinzipdarstellung der Anordnung von Sensorkabeln  
10 in einer Leaching-Halde.

Bei dem in den Fig. 1a und 1b gezeigten Ausführungsbeispiel wird zunächst von einem vorzugsweise vorgesehenen Selbsttest eines faseroptischen Temperaturmeßgeräts ausgegangen. Die  
15 eigentliche Messung und Auswertung der aktuellen Temperaturprofile erfolgt dann, nachdem das Gerät Betriebsbereitschaft signalisiert hat.

Gemäß Ausführungsbeispiel werden lokale Extrema, d.h. Minima  
20 oder Maxima, ohne numerische Ableitungen erkannt. Hierdurch werden Probleme umgangen, die ansonsten beim numerischen Differenzieren von Temperaturprofilen durch Signalrauschen und die für die jeweilige Rohrleitung charakteristischen räumlichen und zeitlichen Temperaturvariationen auftreten  
25 können. Die zur Auswertung der aktuellen Meßergebnisse benötigten Referenzprofile  $T_{\text{Ref},j}$  werden festgelegt und mit entsprechenden Indizes versehen. Die gewählten Voreinstellungen sind frei programmierbar, um individuelle Anpassungen des Überwachungssystem an die jeweilige Meßaufgabe zu ermöglichen.  
30

Eine beispielhafte Wahl für die Zeitspanne zwischen zwei Temperaturmessungen ist z.B. eine Stunde, d.h.  $\tau=1h$ .

35 Als Referenzdaten dienen nachstehende Temperaturprofile:



$$T_{\text{Ref},1} = T_{i,t-\tau,n,w,N}$$

$$T_{\text{Ref},2} = T_{i,t-24h,n,w,N}$$

$$T_{\text{Ref},3} = T_{i,t,n,w,N-1}$$

5

Es wird eine Matrix (integer Variable) erzeugt, deren Elemente  $A_{ij}$  auf null gesetzt werden. Die Größe der Matrix wird bestimmt durch die Anzahl der Längenabschnitte des Sensorkabels  $I=L/\Delta x$  und der Anzahl  $J$  der verwendeten Referenzprofile, d.h.  $I \times J$ .

10

Bereits die Messung des aktuellen Temperaturprofils beinhaltet eine statistische Bewertung. Hier werden Einzelmessungen ausgeführt und diese bewertet, um die Rauschamplitude deutlich unter den vorgegebenen Schwellenwert  $\vartheta$  für die Temperaturdifferenz  $\Delta T(x_i)$  zu drücken.

15

Der derart gewonnene Mittelwert der zeitlich eng beieinander liegenden Temperaturprofile wird im weiteren als aktuelles Temperaturprofil  $T_{i,t,n,w,N}$  angesprochen. Dieses Temperaturprofil wird entsprechend der jeweiligen Zeit  $t$  und des Wochentags  $n$  in einer Tabelle abgelegt.

20

Die anschließende Bewertung des aktuellen Temperaturprofils erfolgt schrittweise für alle  $j$ -Werte, d.h. durch Vergleich mit den verschiedenen Referenzprofilen  $T_{\text{Ref},j}$ .

25

Die sich ergebenden Temperaturdifferenzen  $\Delta T(x_i)$  werden daraufhin für alle Längenabschnitte  $i$  geprüft, und zwar um festzustellen, ob diese um mehr als den Schwellenwert  $\vartheta$  vom Referenzwert abweichen. Wenn dies nur für einen oder einige wenige  $i$ -Werte der Fall ist, wird untersucht, ob sich diese Abweichungen auch bei den benachbarten Längenabschnitten ergeben. Durch eine logische UND-Verknüpfung werden die verschiedenen  $k$ -Werte  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 3$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 10$  und  $\pm 20$  abgefragt. In

30

dem Fall, wenn sämtliche dieser benachbarten Längenabschnitte vergleichbare Temperaturabweichungen von den Referenzwerten zeigen, ist die bestimmte Temperaturänderung großräumig und deutet nicht auf eine Leckage hin.

5

Sind hingegen nur wenige unmittelbar benachbarte Temperaturdifferenzen, z.B.  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 3$ , betroffen, wird dies als Leckage bewertet.

10 In einem letzten Schritt wird untersucht, ob die festgestellte lokale Temperaturanomalie das zum erwarteten physikalischen Effekt passende Vorzeichen besitzt.

Eine Gasleckage ist beispielweise mit einer negativen Temperaturanomalie verbunden. In dem Fall, wenn das Vorzeichen der festgestellten Temperaturanomalie dem physikalischen Prozeß entspricht, wird das Matrixelement  $A_{ij}$  durch Addition um 1 erhöht. Weiterhin ist vorgesehen, Meldungen auch für solche lokalen Temperaturanomalien zu generieren, die nicht sofort und eindeutig physikalisch interpretiert werden können.

20 Solche Temperaturschwankungen können wichtige Informationen über den Zustand bzw. die Belastung der Rohrleitung liefern.

Dann, wenn alle j-Werte abgearbeitet sind, erfolgt eine Endbewertung der Matrixelemente  $A_{ij}$ . Die Bewertungskriterien sind grundsätzlich frei wählbar. Bevorzugt wird ein Schwellenwert S festgelegt, der zwischen 1 und J variieren kann. Für jeden i-Wert, für den die Summe  $\sum_j A_{ij}$  den Schwellenwert S übersteigt, wird eine Leckagewarnung ausgegeben, wie dies Fig. 1b deutlich macht.

30

Die in der Fig. 2 gezeigte Vorrichtung zur Leckageüberwachung eines Steig- oder Förderrohrs 1 zeigt ein solches Rohr, welches mit einem Ringraum 2 oder einer Zementation umgeben ist.

35

Im Inneren des Steig- oder Förderrohrs 1 ist ein faseroptisches Sensorkabel 3 eingebracht bzw. angeordnet. Dieses Sensorkabel 3 weist ein äußeres Ende auf, welches über eine nicht gezeigte druckfeste Abdichtung geführt wird.

5

Das Steig- oder Förderrohr 1 besteht aus einzelnen, durch Muffen 4 verbundenen Abschnitten. Das erwähnte äußere Ende des faseroptischen Sensorkabels 3 führt zu einer nicht dargestellten Meßeinheit zum Einspeisen von Strahlungsimpulsen und Empfangen von Rückstreustrahlung, insbesondere Raman-  
10 Rückstreuung, so daß das Temperaturprofil längs des Sensorkabels ermittelbar ist.

Am inneren Ende des Sensorkabels 3 ist ein Gewichtskörper  
15 und/oder eine Kabelabschlußdose 5 zum leichteren Einbringen des Kabels sowie gegen den im Inneren des Rohrs wirkenden Druck angebracht. Ein Packer 6 dichtet den Ringraum zum darunterliegenden Speicher ab.

20 Am Sensorkabel 3 können Abstandshalter 7 befestigt sein, welche sich nach Einbringen des Sensorkabels in das Rohrinnere quasi aufspreizen oder entfalten, so daß das Kabel bezogen auf das Rohr 1 eine definierte Lage einnimmt. Hierfür sind die Abstandshalter 7 federelastisch, wobei sich im ent-  
25 spannten Zustand die Abstandshalter im wesentlichen senkrecht von der Sensorkabel-Längsachse hin zur Rohrrinnenwandung erstrecken.

Die im rechten Teil der Fig. 2 dargestellte Differenzkurve  
30 der Temperaturprofile vor und nach der Ringraumentlastung zeigt die hohe Empfindlichkeit der faseroptischen Temperaturmeßtechnik und die nachweisbaren Anomalien in der Temperaturverteilung mit verschiedenen Vorzeichen.

Negative Temperaturdifferenzen lassen undichte Muffen 4 erkennen. Positive Temperaturanomalien hingegen offenbaren den Zustrom wärmeren Gases im Hinterrohrbereich aufgrund einer schadhaften Zementation.

5

Mit Hilfe der figürlich dargestellten und beschriebenen Vorrichtung kann nicht nur eine entsprechend gegebenen Prüfkriterien vorgenommene Leckagekontrolle durchgeführt werden, sondern es ist auch eine Überwachung der Langzeittemperaturentwicklung und eine Erfassung weiterer Parameter untertägiger Gasspeicher möglich. Die erhaltenen thermodynamischen Informationen liefern in Verbindung mit den geologischen Gegebenheiten des Untergrunds ein detailliertes Bild der Vorgänge im Gasspeicher. Durch Bestimmung des Temperaturprofils auch in der Speicherbohrung läßt sich aus Kenntnis des Drucks am Sondenkopf und unter Nutzung der thermodynamischen Zustandsgleichung für das Gas aus dem Temperaturprofil das Druckprofil im Speicher berechnen.

20 Die in der Fig. 2 dargestellten Abkühlungen im Ringraum oder der Zementation wirken über Wärmeleitungsvorgänge in das Steig- oder Förderrohr zurück und lassen sich mit der faseroptischen Temperatursensorik unter Nutzung des Sensorkabels erfassen und lokalisieren.

25

Es hat sich bei Versuchen gezeigt, daß es möglich ist, eine temporäre Installation des Sensorkabels in der Bohrung eines Gasspeichers vorzunehmen, auch dann, wenn die Bohrung selbst unter Druck steht. Hierfür wird mittels Druckschleusen eine Abdichtung der Bohrung während des Kabeleinbaus und während der Zeit der Temperaturmessungen vorgenommen. Nach einer Aufnahme des Ausgangszustands der Temperaturverteilung wird dann entweder der unter Druck stehende Ringraum oder das Steigrohr entlastet. Danach erfolgt eine erneute Messung der Temperaturverteilung. Aus den Temperaturdifferenzen lassen sich dann

35

Undichtheiten und defekte Teile unter Beachtung des bekannten Verrohrungsschemas ermitteln. Es konnte nachgewiesen werden, daß undichte Muffen zu Temperaturabnahmen von mehreren Grad führen. Wie dargestellt, konnte zeitlich versetzt ein etwas tiefer liegender Packer, der den Ringraum gegen den Gas-  
5 speicher abdichtet, als defekt lokalisiert werden.

Mit der vorstehend anhand der Fig. 2 beschriebenen Vorrichtung gelingt es demnach, Leckagen insbesondere an Steig- oder Förderrohren für Untergrundgasspeicher in besonders kosten-  
10 günstiger Weise zu ermitteln und/oder eine Langzeitüberwachung untertägiger Erdgasspeicher, aber auch Speicher von Druckluft vorzunehmen. Dadurch, daß die eingesetzten faseroptischen Sensorkabel potentialfrei sind, werden Gefährdungen ausgeschlossen und es ist die gewünschte Explosionssicherheit  
15 gegeben.

Die von der Meßeinheit zum Einspeisen von Strahlungsimpulsen und Empfangen von Raman-Rückstreustrahlung erhaltenen Ergebnisse können online und mobil ausgewertet oder in eine Leit-  
20 warte zur Zustandsüberwachung eingebunden werden.

Anhand der Fig. 3 und dem nachfolgenden Ausführungsbeispiel soll erläutert werden, wie mit Hilfe faseroptischer Sensorik Strömungen in Grubenwässern ermittelt werden können, und eine  
25 Feststellung des Verhaltens einer Wasserscheide möglich ist.

Konkret soll in einem gefluteten Stollenabschnitt, der vollständig mit Wasser gefüllt ist, die Strömungsrichtung des Grubenwassers festgestellt und die Strömungsgeschwindigkeit  
30 bestimmt werden.

Hierfür wird erfindungsgemäß von einer thermischen Punktquelle mit einer Temperatur  $T_q$  ausgegangen und eine verteilte Temperaturmessung vor Ort realisiert. Zur verteilten Temperaturmessung ist im Stollenabschnitt ein faseroptisches  
35

Sensorkabel SK eingebracht, und zwar derart, daß möglichst mit hoher Ortsauflösung gemessen werden kann.

Die Punktquelle wird nur zeitlich begrenzt als thermischer  
5 Impuls zur Wirkung gebracht. Unter Berücksichtigung der  
üblichen Wärmeleitfähigkeit von Wasser lassen sich Strömungs-  
geschwindigkeiten im Bereich von 0,2 bis 0,8 und mehr m/h  
ermitteln, wobei bei festgestellter höherer Strömungsge-  
schwindigkeit die Temperatur der Punktquelle entsprechend  
10 angepaßt werden kann.

Bevorzugt liegt die Meßstrecke, d.h. die Ausbildungsrichtung  
des Sensorkabels SK in Längsrichtung des Stollens, d.h. in x-  
Achsenrichtung. Wie figürlich erkennbar, erfolgt eine Ver-  
15 schiebung der Temperaturkurve nach Ansetzen der Punktquelle  
bei vorhandener Strömung, wobei das faseroptische Meßsystem  
in der Lage ist, anhand der Verschiebung der Profile die  
Strömungsrichtung als auch die Strömungsgeschwindigkeit zu  
ermitteln.

20

Die eingesetzte thermische Punktquelle Tq kann sowohl eine  
Erwärmung als auch eine gezielte Abkühlung des Grubenwassers  
erzeugen.

25 Erfindungsgemäß wird also die Erkenntnis genutzt, daß bei  
eindeutigen Strömungsvorgängen die an sich isotrope Wärme-  
ausbreitung mit einem entsprechenden homogenen Feld ver-  
schoben wird. Die Verschiebung des Wärmefelds läßt sich mit  
der faseroptischen Temperaturmeßtechnik ermitteln, wodurch  
30 wiederum Strömungsrichtung und -geschwindigkeit des fließen-  
den Mediums bestimmbar ist.

Eine weitere spezielle Applikation erfindungsgemäßer faser-  
optischer Temperatursensorik besteht in der Bestimmung und

dem Nachweis der Dichtigkeit von Sohle und Seitenbegrenzungen von Baugruben oder dergleichen Einrichtungen.

Für die Ortung von Leckagen in der Baugrubensohle wird in  
5 einem der Geometrie der Baugrube angepaßten Raster eine Vielzahl von Bohrungen mit vorgegebenem Durchmesser bis unmittelbar zur Sohle abgeteuft. In die Bohrungen werden dann Temperaturmeßfühler eingebracht und es wird ein Bestimmen der flächenhaften Verteilung der Temperatur vorgenommen. Hierfür  
10 können sowohl sämtliche Sensoren gleichzeitig ausgelesen werden, es besteht aber auch die Möglichkeit, zunächst ausgewählte Sensoren, ein Grobraster bildend, zu aktivieren, um vermutliche Leckagestellen grob zu ermitteln. Im Anschluß daran lassen sich dann vorwählbare Bereiche mit einem engeren  
15 Punktraster verdichtet vermessen.

Für die Erfassung von Leckagen an Schlitz- und Spundwänden ist die Bestimmung der vertikalen Temperaturverteilung mit einer Ortsauflösung von ca. 0,5 bis 1 m notwendig, um die  
20 Leckage möglichst exakt nachweisen zu können. Hierfür wird wiederum auf ein faseroptisches Temperaturmeßverfahren zurückgegriffen. Konkret wird das faseroptische Temperaturmeßkabel in Bohrungen in unmittelbarer Nähe der Spund- bzw. Schlitzwände vor den Fugen zwischen den einzelnen Wandelementen einer Baugrube installiert. Das heißt, an kritischen  
25 Stoßstellen erfolgt bevorzugt das Einbringen der Bohrungen mit Sensorkabel.

Diese bis unmittelbar zur Sohle abgeteuften Bohrungen weisen  
30 bevorzugt einen Innendurchmesser von mindestens 1 bis 1,5" auf und können durchgängig mit einem glasfaserverstärkten Kunststoff-Filterrohr oder ähnlichen Filterrohren verrohrt werden.

Bei einer mittleren Teufe der Bohrungen von 17 m und einem Abstand der Bohrungen zueinander von 4 m können bis zu 100 Bohrungen mit einem durchgängigen Kabel bestückt werden, wie dies beispielsweise die Fig. 4 zeigt.

5

Die Meßkabelauslage wird so vorkonfektioniert, daß das Kabel in der Baugrube nur noch von einer Kabeltrommel abgerollt wird und die Kabelschleifen mit Grundgewichten in die abgetauften Bohrungen eingefädelt werden können.

10

Nach der Installation des Meßkabels wird über einen Zeitraum von z.B. 30 Min. der Ausgangszustand der Temperaturverteilung in der Baugrube bestimmt. Anschließend wird mit dem Abpumpen des Wassers aus dem Inneren der Baugrube begonnen. Während  
15 des Abpumpens wird in einem vorgegebenen Takt die Veränderung der Temperaturverteilung bezogen auf den Ausgangszustand vor Beginn des Abpumpens ermittelt.

Über eine Online-Datenauswertung kann unmittelbar anschlie-  
20 ßend an den eigentlichen Meßprozeß, d.h. bereits während des Pumpversuchs steuernd eingegriffen werden. Das heißt, es können die Pumprate, aber auch die Dauer der Abpumpphase beeinflußt werden.

25 An undichten Stellen der Spundwände strömt kühleres Grundwasser nach und es wird eine entsprechende lokale Temperaturveränderung ermittelt. Durch übliche orts aufgelöste Messung läßt sich dann die Lage der Undichtigkeit ermitteln und es ist ein Nachbessern möglich.

30

Wie mit dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 illustriert, ist die Anwendung eines faseroptischen Temperaturmeßverfahrens zur Überwachung von exothermen, chemischen und/oder mikrobiologischen Leaching-Prozessen realisierbar, wobei hier die  
35 zeitliche und örtliche Temperaturverteilung mittels mäander-



förmig, bevorzugt in mehreren Ebenen angeordneten, im Leaching-Material befindlichen faseroptischen Sensoren bestimmt wird. Aus dem bekannten chemischen oder mikrobiologischen Prozeß kann die Leaching-Aktivität und die Ausbeute bestimmt, aber auch gesteuert werden.

Nach Fig. 5 ist im Inneren einer Leaching-Halde 10 eine faseroptische Meßanordnung in Form von z.B. mäanderförmig verlegten Sensoren 11 ausgebildet. Dabei besteht die Möglichkeit, die Sensoren 11 flächig in einer ersten Ebene 12 und in einer zweiten, darüber befindlichen Ebene 13 anzuordnen.

Die zu einer Auswerteeinrichtung 14 geführten Kabel können dann in der eingangs beschriebenen Art und Weise mit Laserlicht beaufschlagt werden, um anhand der Raman-Rückstreuungseffekte die Temperaturverteilung örtlich und zeitlich bestimmen zu können.

Durch die beschriebene bevorzugte Anordnung der Sensorkabel 11 besteht die Möglichkeit, die sich ausbildende fortlaufende Leaching-Front innerhalb der Leaching-Halde 10 zu untersuchen und hinsichtlich ihrer Homogenität zu bewerten. Durch gezieltes Zuführen bestimmter, den Leaching-Prozeß fördernder Stoffe kann die Ausbeute insgesamt erhöht werden.

Durch eine Langzeit-Beobachtung besteht darüber hinaus die Möglichkeit, den Prozeß des Erholens innerhalb der Leaching-Halde nach abgelaufener exothermer Reaktion beurteilen zu können, um im Nachgang entweder die Halde umzusetzen oder einen erneuten Leaching-Zyklus einzuleiten.

Die faseroptischen Sensoren sind durch ihre Ausbildung als umhüllte Lichtwellenleiter besonders widerstandsfähig gegen die kritischen und aggressiven Umgebungsbedingungen innerhalb einer Leaching-Halde. Die Sensorkabel werden beispielsweise

in der gemäß Fig. 5 dargestellten Art und Weise beim Aufschütten der Leaching-Halde 10 eingebracht und können dort während des gesamten Ausbeutezyklus verbleiben. Die mit Hilfe der Auswerteeinrichtung 14 vorgenommenen Messungen können

5 kontinuierlich, aber auch in Abständen, d.h. zyklisch wiederholt werden, um die gewünschte Steuerung bzw. Beeinflussung der Leaching-Ausbeute zu gewährleisten.

10 Bezugszeichenaufstellung

- |    |    |                                  |
|----|----|----------------------------------|
|    | 1  | Steig- oder Förderrohr           |
|    | 2  | Ringraum                         |
|    | 3  | faseroptisches Sensorkabel       |
| 15 | 4  | Muffe                            |
|    | 5  | Gewichtskörper/Kabelabschlußdose |
|    | 6  | Packer                           |
|    | 7  | Abstandshalter                   |
|    | 10 | Leaching-Halde                   |
| 20 | 11 | Sensorkabel                      |
|    | 12 | erste Sensorkabelebene           |
|    | 13 | zweite Sensorkabelebene          |
|    | 14 | Auswerteeinrichtung              |

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
gekennzeichnet durch  
Prüfen des Vorzeichens der festgestellten lokalen Temperaturanomalie und Erhöhen des Matrixelements  $A_{ij}$  durch Addition  
5 des Wertes 1 dann, wenn das Vorzeichen dem erwarteten  
physikalischen Effekt der Anomalie entspricht.
3. Vorrichtung zum, auch permanenten und automatischen,  
Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperatur-  
10 anomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik, insbesondere von mit einem Ringraum umgebenen  
Steig- oder Förderrohren für Untergrundgasspeicher mittels  
faseroptischer Sensorkabel zur Bestimmung der Temperaturverteilung oder der Temperaturanomalien,  
15 dadurch gekennzeichnet, daß  
das faseroptische Sensorkabel (3) im Inneren des Steig- oder  
Förderrohrs (1) angeordnet ist und über eine druckfeste Abdichtung nach außen führt, wobei weiterhin eine Einrichtung  
zum zeitweisen Entlasten des unter Druck stehenden Ringraums  
20 (2) und/oder des Steigrohrs (1) vorgesehen ist, sowie das  
äußere Ende des faseroptischen Sensorkabels (3) an eine Meßeinheit zum Einspeisen von Strahlungsimpulsen und Empfangen  
von Rückstreustrahlung angeschlossen ist.
- 25 4. Vorrichtung nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
am inneren Ende des Sensorkabels (3) ein Gewichtskörper  
und/oder eine Kabelabschlußdose (5) befestigt ist.
- 30 5. Vorrichtung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das Sensorkabel (3) im Rohrrinnern freihängend angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
am Sensorkabel (3) Abstandshalter (7) befestigt sind, welche  
nach Einbringen des Sensorkabels (3) in das Rohrinne eine  
5 vorgegebene Sensorkabellage sichern.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Abstandshalter (7) federelastisch ausgebildet sind und im  
10 entspannten Zustand sich im wesentlichen senkrecht von der  
Sensorkabel-Längsachse erstrecken.

8. Vorrichtung nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
15 das Sensorkabel (3) im Inneren einer mindestens teilweise  
horizontal verlaufenden Hochdruckgaspipeline angeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
20 das Sensorkabel ein Verbundkabel zur Bestimmung der Tempera-  
turverteilung und Datenübertragung, insbesondere Telekommu-  
nikation ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 4,  
25 dadurch gekennzeichnet, daß  
in oder an der Kabelabschlußdose weitere Sensoren zur  
Erfassung von Druck, Temperatur und/oder Umgebungsleit-  
fähigkeit angeordnet sind.

30 11. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 10,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Kabelabschlußdose aus einer Mehrkammeranordnung mit  
druckdichten und/oder zur Umgebung gefluteten bzw. offenen  
Bereichen besteht.

12. Vorrichtung nach Anspruch 4, 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Kabelabschlußdose ein vorzugsweise faseroptisches  
Geophon, insbesondere zur Bestimmung des Gas/Wasser-Kontakts  
5 beim Einfahren aufweist.

13. Verfahren zum, auch permanenten und automatischen,  
Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperatur-  
anomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Tempera-  
10 tursensorik, insbesondere zum Nachweis der Dichtigkeit von  
Sohle und Seitenbegrenzungen in Baugruben oder dergleichen  
Einrichtungen,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Grubengeometrie entsprechend rasterartige Bohrungen  
15 bis zu Sohle abgeteuft sind,  
daß in die Bohrungen Temperatursonden eingebracht werden und  
anschließend ein Auslesen der Sondenmeßwerte erfolgt, wobei  
bei festgestellter Anomalie die Messung und Auswertung von  
einem Grobraster auf ein Feinraster umgestellt oder ergänzt  
20 wird und weiterhin Bohrungen in unmittelbarer Nähe von Spund-  
und Schlitzwänden vor den Fugen der Einzelwandelemente einge-  
bracht werden, wobei die Bohrungen bis zur Sohle reichen,  
daß ein durchgängiges faseroptisches Kabel in die Bohrungen  
eingeführt und mittels Grundgewicht oder dergleichen Körper  
25 abgeteuft werden, wobei ein Bestimmen des Ausgangszustands  
der Temperaturverteilung erfolgt, anschließend ein Abpumpen  
des Wassers aus dem Grubeninneren vorgenommen wird und hier-  
bei laufend oder zyklisch ein Messen der Temperaturverteilung  
und ein Vergleichen zum Ausgangszustand durch Online-Auswer-  
30 tung erfolgt.

14. Verfahren zum, auch permanenten und automatischen,  
Monitoring von Temperaturverteilungen und/oder Temperatur-  
anomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Tempera-  
35 tursensorik, insbesondere zur Bestimmung von Strömungen in

Grubenwässern sowie zur Feststellung des Verhaltens einer Wasserscheide,

dadurch gekennzeichnet, daß

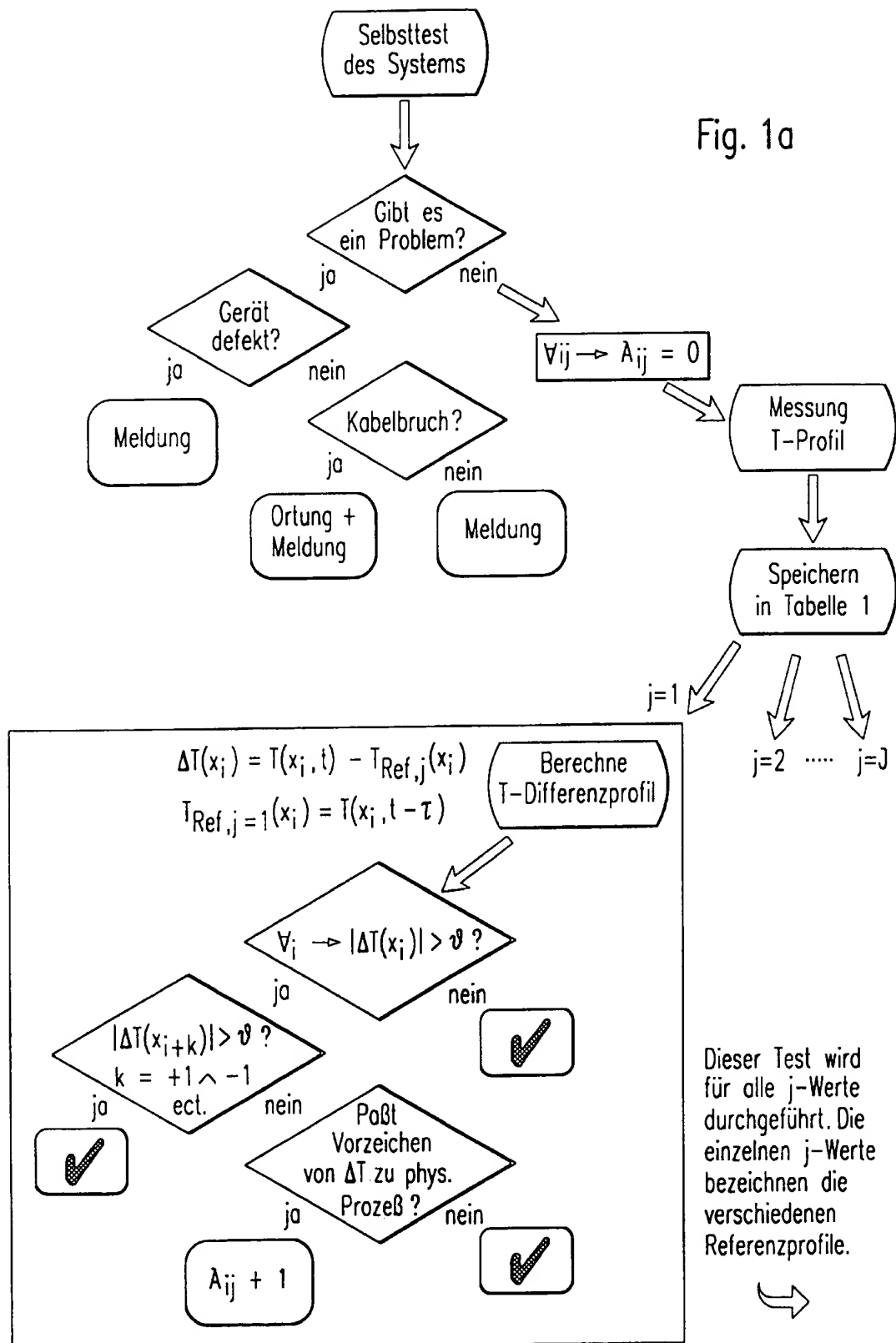
ein faseroptisches Sensorkabel bevorzugt in Mäanderform,

- 5    Spiralform oder dergleichen Anordnung in den Stollen oder in die Grube in Längsrichtung sich erstreckend eingebracht wird, wobei bevorzugt im Zentrum der Kabelanordnung eine thermische Punktquelle aktiviert wird und wobei aus einer festgestellten Verschiebung der aufgenommenen Temperaturprofile bezüglich  
10   der bekannten Lage der Punktquelle auf das Vorhandensein einer Strömung und die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen wird.

15. Anwendung eines Verfahrens zum Monitoring von Temperatur-  
15   verteilungen und/oder Temperaturanomalien auf der Basis verteilter faseroptischer Temperatursensorik für exotherme, chemische und/oder mikrobiologische Leaching-Prozesse, wobei hierfür die zeitliche und räumliche Temperaturverteilung in einer Leaching-Halde oder Leaching-Schüttung mittels mäander-  
20   förmig, schleifenförmig oder dergleichen, bevorzugt in mehreren Ebenen angeordneten, im Leaching-Material befindlichen faseroptischen Sensoren bestimmt wird, wobei weiterhin aus dem bekannten chemischen und/oder mikrobiologischen Prozeß die Leaching-Aktivität und Ausbeute bestimm- und steuerbar  
25   ist.

1/5

Fig. 1a



2/5

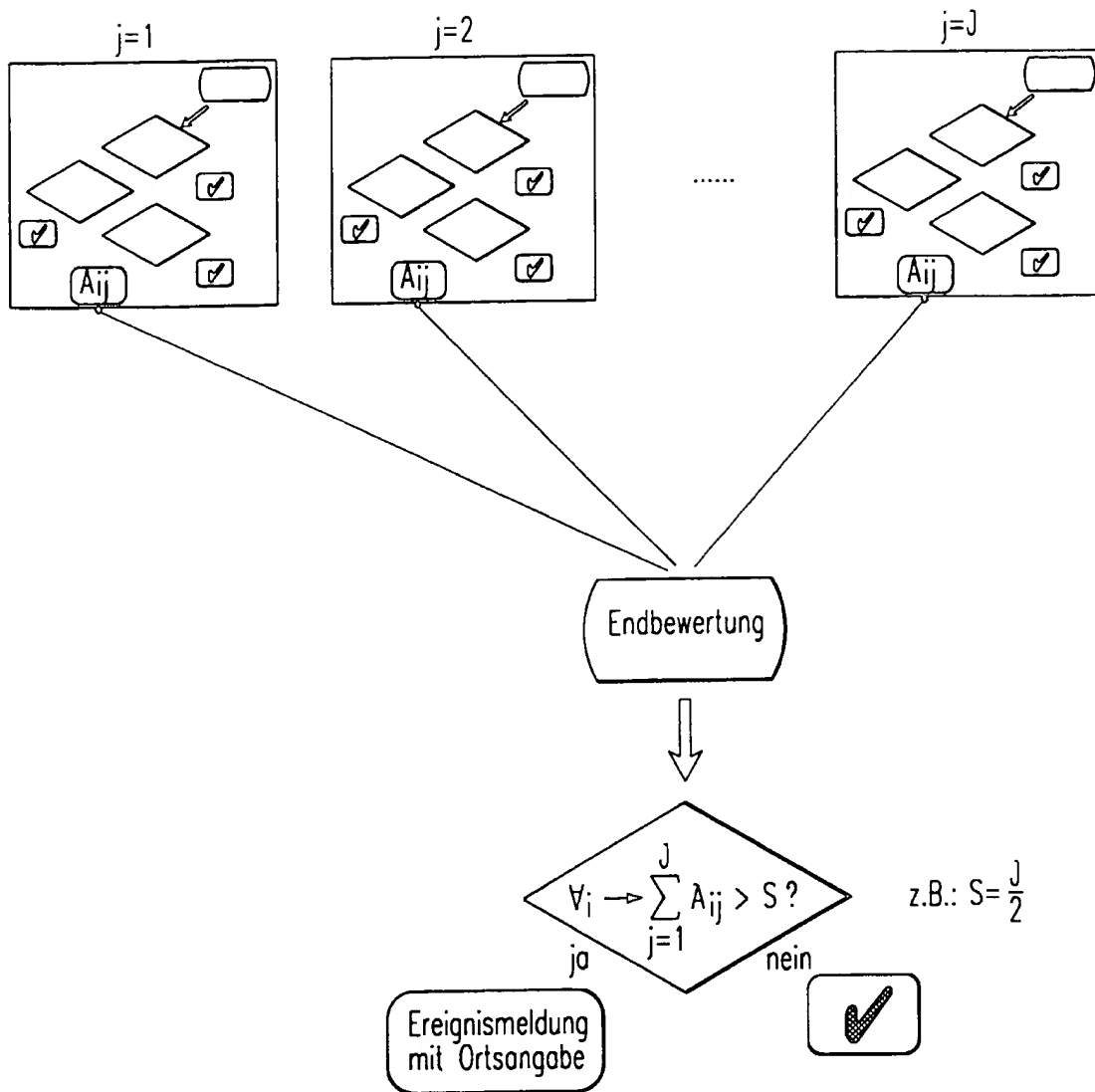


Fig. 1b



3/5

↗ undichte Muffe  
↘ Hinterrohrströmung

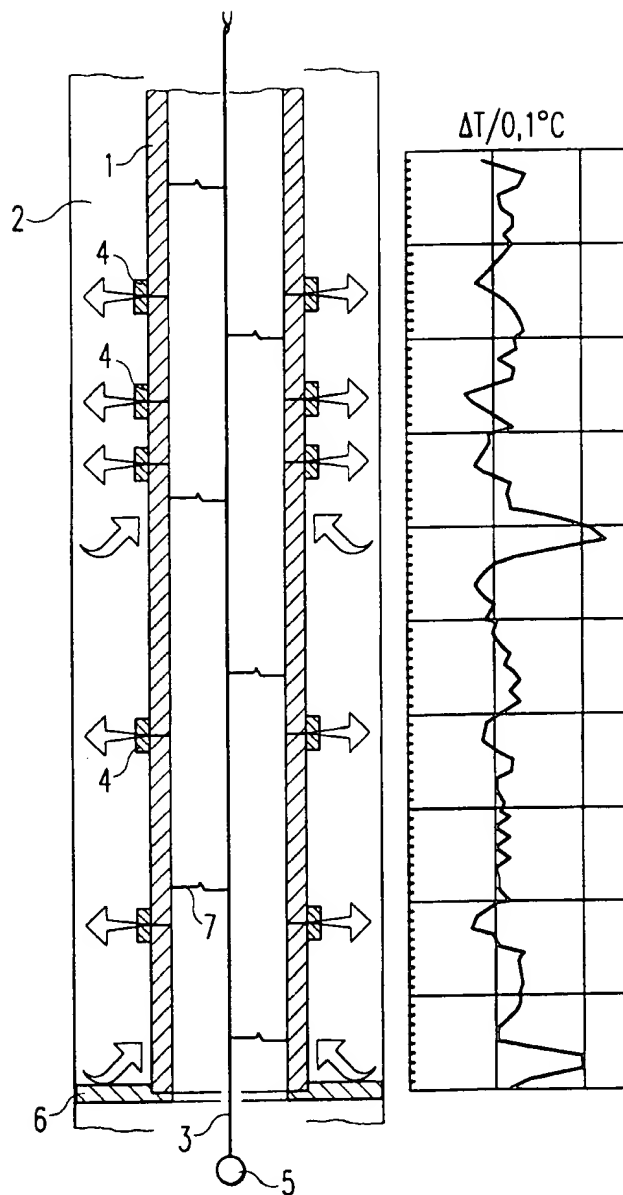
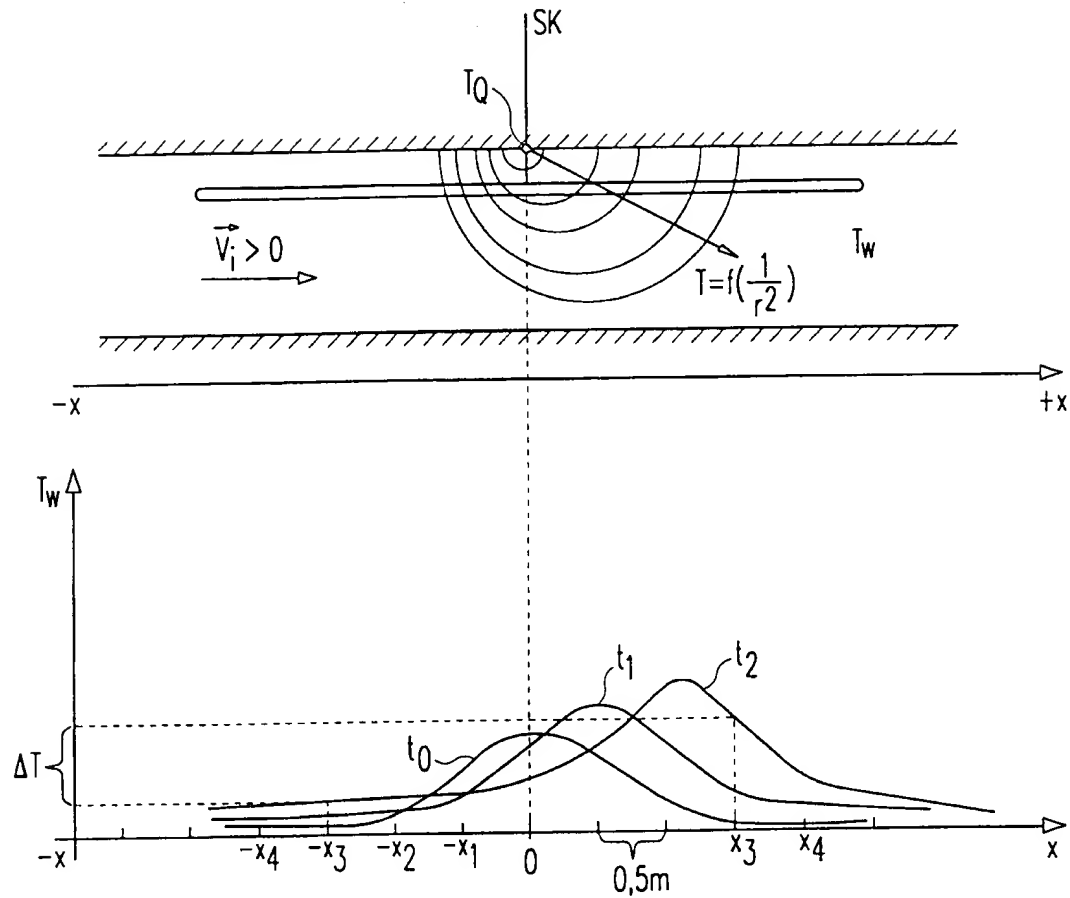


Fig. 2

4/5



$V_i$  Strömungsgeschwindigkeit

$T_w$  Temperatur Wasser

$T_Q$  Temperatur Punktquelle

$t$  Zeit

Fig. 3

5/5

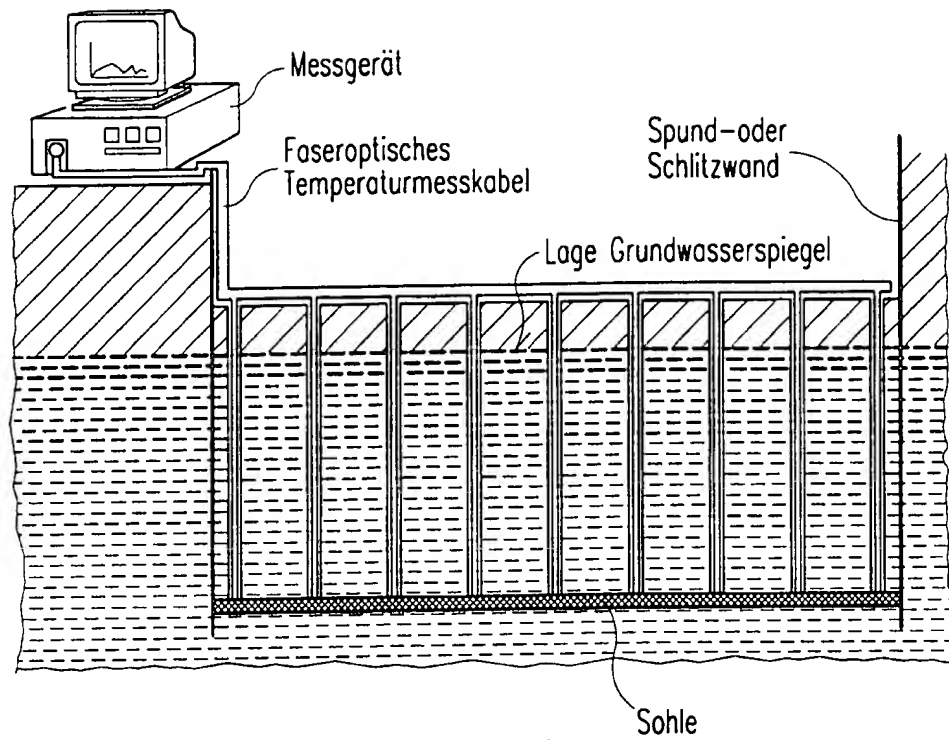


Fig. 4

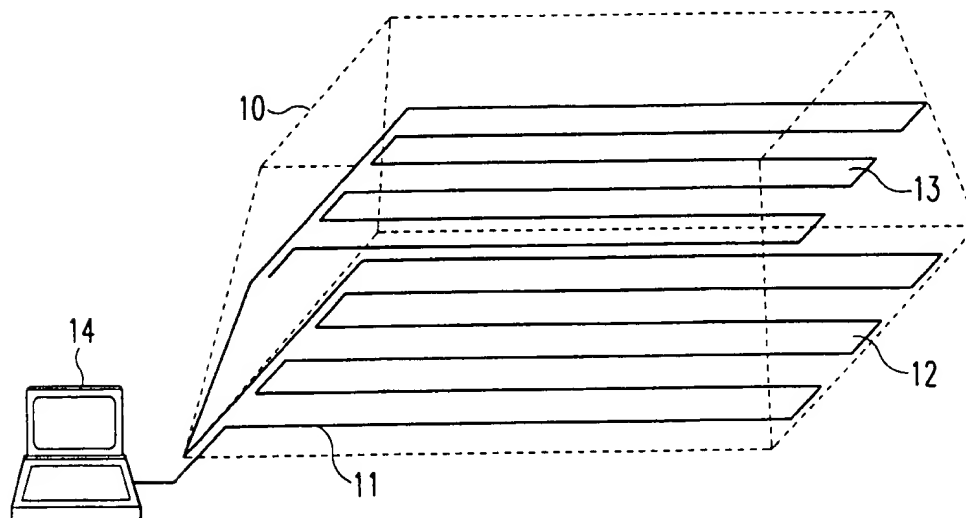


Fig. 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 99/03162

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G01M3/00 G01M3/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G01M G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	DE 298 11 737 U (GESO) 17 September 1998 (1998-09-17) the whole document ---	1-15
E	DE 298 21 223 U (GTC KAPPELMEYER) 1 April 1999 (1999-04-01) the whole document ---	1, 14
X	DE 196 21 797 A (GTC KAPPELMEYER GMBH) 4 December 1997 (1997-12-04) column 6, line 24 - column 7, line 11; figures 2-5 ---	1, 3, 13
X	DE 197 02 126 A (GESO GES FUER SENSORIK GEOTECH) 23 April 1998 (1998-04-23) the whole document --- --/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 August 1999

Date of mailing of the international search report

07/09/1999

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ramboer, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr. .nal Application No

PCT/EP 99/03162

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication where appropriate of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 195 09 129 A (GESO GES FUER SENSORIK GEOTECH) 29 August 1996 (1996-08-29) cited in the application the whole document ---	1
A	US 5 663 490 A (KOZEN TORU) 2 September 1997 (1997-09-02) the whole document ---	1,13,15
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 004, 30 April 1996 (1996-04-30) -& JP 07 317215 A (KAJIMA CORP), 5 December 1995 (1995-12-05) abstract -----	1,15

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 99/03162

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 29811737 U	17-09-1998	KEINE	
DE 29821223 U	01-04-1999	KEINE	
DE 19621797 A	04-12-1997	KEINE	
DE 19702126 A	23-04-1998	KEINE	
DE 19509129 A	29-08-1996	AU 4880196 A WO 9626425 A	11-09-1996 29-08-1996
US 5663490 A	02-09-1997	JP 2826720 B JP 8338783 A	18-11-1998 24-12-1996
JP 07317215 A	05-12-1995	JP 2759420 B	28-05-1998

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/03162

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 29811737 U	17-09-1998	NONE	
DE 29821223 U	01-04-1999	NONE	
DE 19621797 A	04-12-1997	NONE	
DE 19702126 A	23-04-1998	NONE	
DE 19509129 A	29-08-1996	AU 4880196 A WO 9626425 A	11-09-1996 29-08-1996
US 5663490 A	02-09-1997	JP 2826720 B JP 8338783 A	18-11-1998 24-12-1996
JP 07317215 A	05-12-1995	JP 2759420 B	28-05-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03162

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G01M3/00 G01M3/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01M G01K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	DE 298 11 737 U (GESO) 17. September 1998 (1998-09-17) das ganze Dokument ---	1-15
E	DE 298 21 223 U (GTC KAPPELMEYER) 1. April 1999 (1999-04-01) das ganze Dokument ---	1, 14
X	DE 196 21 797 A (GTC KAPPELMEYER GMBH) 4. Dezember 1997 (1997-12-04) Spalte 6, Zeile 24 - Spalte 7, Zeile 11; Abbildungen 2-5 ---	1, 3, 13
X	DE 197 02 126 A (GESO GES FUER SENSORIK GEOTECH) 23. April 1998 (1998-04-23) das ganze Dokument ---	1
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

31. August 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/09/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ramboer, P



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03162

C (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 195 09 129 A (GESO GES FUER SENSORIK GEOTECH) 29. August 1996 (1996-08-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1
A	US 5 663 490 A (KOZEN TORU) 2. September 1997 (1997-09-02) das ganze Dokument ---	1,13,15
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 004, 30. April 1996 (1996-04-30) -& JP 07 317215 A (KAJIMA CORP), 5. Dezember 1995 (1995-12-05) Zusammenfassung -----	1,15

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03162

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 195 09 129 A (GESO GES FUER SENSORIK GEOTECH) 29. August 1996 (1996-08-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1
A	US 5 663 490 A (KOZEN TORU) 2. September 1997 (1997-09-02) das ganze Dokument ---	1,13,15
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 004, 30. April 1996 (1996-04-30) -& JP 07 317215 A (KAJIMA CORP), 5. Dezember 1995 (1995-12-05) Zusammenfassung -----	1,15